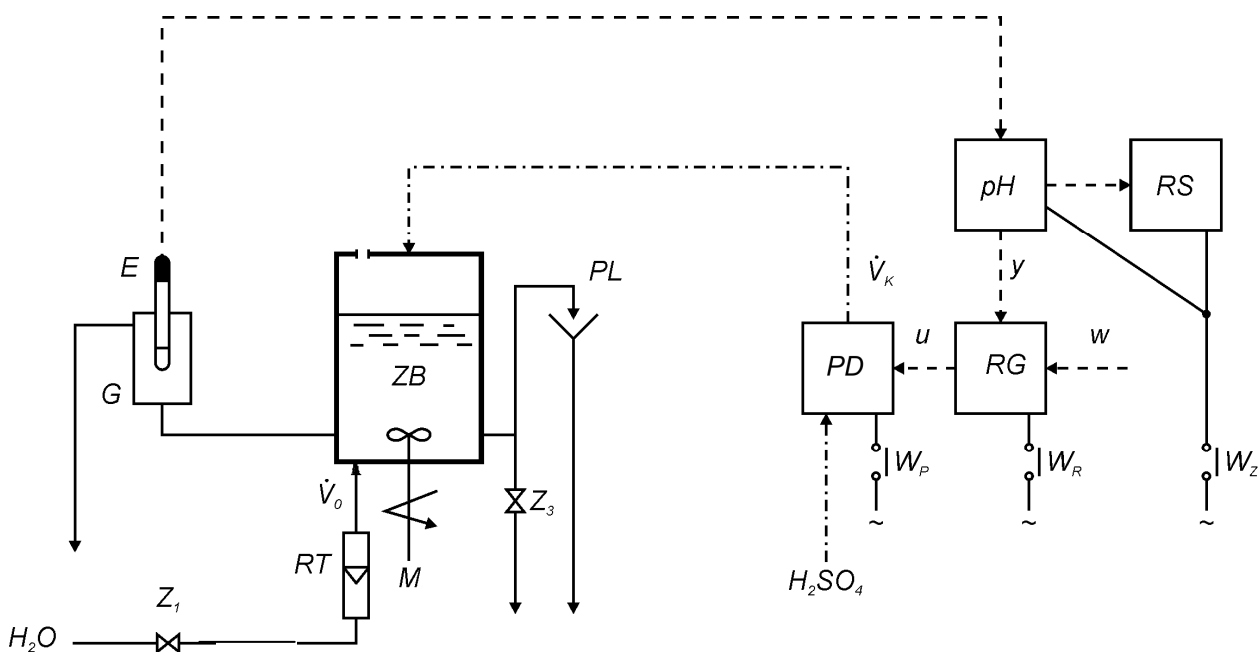


## 4. AUTOMATYCZNA, MIKROPROCESOROWA REGULACJA pH W REAKTORZE PRZEPIYWOWYM

**Cel zadania:** *Poznanie działania układu stałowartościowej regulacji pH w zbiorniku przepływowym z wykorzystaniem mikroprocesorowego regulatora PID. Zbadanie statycznych i dynamicznych właściwości obiektu regulacji, określenie statycznej dokładności regulacji przy zmianie wielkości zadanej i wielkości zakłócającej.*

### 4.1. UKŁAD REGULACJI

Schemat układu regulacji pH przedstawia rysunek 4.1. Przez zawór  $Z_1$  oraz zbiornik (reaktor)  $ZB$  przepływa z natężeniem przepływu  $\dot{V}_0$  woda wodociągowa. Wartość  $\dot{V}_0$  mierzy rotametr  $RT$ . Ze zbiornika woda odpływa przez przelew  $PL$ , zapewniający napelnienie go do stałego poziomu. Zbiornik jest ustawiony na mieszadle magnetycznym  $M$  zawiera umieszczony na dnie dipolek mieszający.



Rys. 4.1. Schemat układu regulacji pH

Część wody ze zbiornika przepływa przez głowicę pomiarową  $G$  z czujnikiem pehametrycznym – zespoloną, żelową elektrodą pomiarową  $E$ . Do zbiornika jest dozowany elektryczną mikropompką membranową  $PD$  typu Concept B firmy ProMinent Dozotechnika, z wydajnością  $\dot{V}_k$ , 0,4-N roztwór kwasu siarkowego. Roztwór ten jest mieszany z wodą

mieszadłem magnetycznym  $M$ . Wydajność pompki  $PD$  może być zmieniana ręcznie lub regulowana automatycznie za pośrednictwem elektronicznego, mikroprocesorowego regulatora  $RG$  typu AR-642 firmy APAR.

Przy pracy automatycznej, regulator ma za zadanie utrzymać na wypływie ze zbiornika stałą, zadaną wartość pH (regulacja stałowartościowa). Wielkość regulowana  $y$  z przetwornika pehametrycznego typu BL-931700 firmy HANNA Instruments jest w tym celu porównywana z wielkością zadaną  $w$  nastawioną w regulatorze, a sygnał wyjściowy wielkości regulującej  $u$  regulatora może sterować pompką dozującą  $PD$  zgodnie z algorytmem regulatora proporcjonalno-całkująco-różniczkującego PID (patrz [1], rozdz. 18.2 i dodatkowa instrukcja teoretyczna do laboratorium nr 4). Sygnały  $y$  i  $u$  mają poziomy standardowe; przy zmianie pH w przedziale 0...14 (0...100%) zmieniają się w zakresie 4...20 mA.

Ponieważ membranowa pompka dozująca  $PD$  nie może być sterowana analogowego, bo jej praca ma charakter impulsowy, w układzie regulacji pH zastosowano nowoczesny regulator mikroprocesorowy, który oprócz możliwości analogowego, ciągłego sterowania urządzeniem wykonawczym, np. stopniem otwarcia zaworu, pozwala na sterowanie urządzeniami działającymi w sposób impulsowy, np. właśnie pompkami dozującymi czy przełącznikami układami sterowania ogrzewaniem. Wielkość regulująca  $u$  z regulatora PID jest w tym przypadku, tak jak w klasycznym regulatorze impulsowym (patrz [1], rozdz. 18.1.3 i dodatkowa instrukcja teoretyczna do laboratorium nr 4), równa współczynnikowi wypełnienia impulsów  $A$  (równanie 4.1). Do sterowania impulsowego służy specjalne wyjście regulatora (prądowe bezstykowe lub z przełącznikiem elektromagnetycznym).

$$A = \frac{\tau_a}{\tau_a + \tau_b} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.1)$$

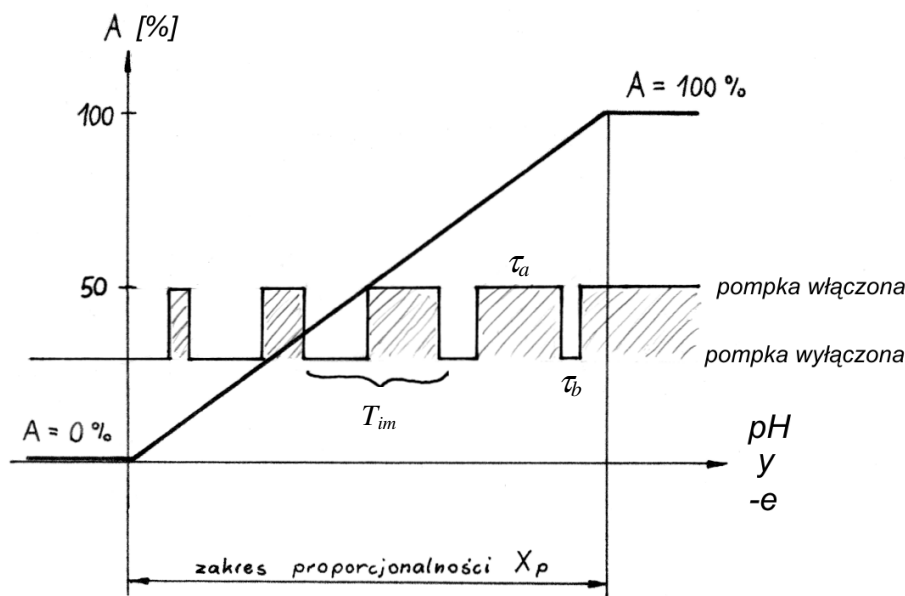
gdzie  $\tau_a$  – czas włączenia pompki  
 $\tau_b$  – czas wyłączenia pompki

$$\tau_a + \tau_b = T_{im} = \text{const.} \quad (4.2)$$

gdzie  $T_{im}$  – okres impulsowania

W zależności od różnicy między wielkością regulowaną  $y$  i wielkością zadaną  $w$  (obie te wielkości są wyświetlane w regulatorze), regulator zmienia wartość współczynnika  $A$  – proporcję między czasem włączenia i wyłączenia pompki dozującej do reaktora roztwór kwasu. Suma obu czasów – okres impulsowania  $T_{im}$  (równanie 4.2) jest stała i została zaprogramowana na 14 sekund. Ponieważ pompka dozuje roztwór ze swoją własną częstotliwością

(2 impulsy/s), każdy impuls z regulatora pozwala, w zależności od jego długości, na doprowadzenie do reaktora od 1 do 28 jednakowych, nastawionych w pompce porcji roztworu kwasu. Stąd im dłuższy impuls z regulatora, tym więcej roztworu dopłynie do reaktora. Działanie regulacji impulsowej wyjaśnia rys. 4.2.



Rys. 4.2. Działanie układu regulacji impulsowej

W przedziale zaprogramowanego w regulatorze (w algorytmie PID) zakresu proporcjonalności  $X_p$ , w momencie zwiększania się pH cieczy opuszczającej zbiornik ponad wartość zadaną ( $y > w$ ), współczynnik  $A$  rośnie, pompka  $PD$  zwiększa wydajność dozowania kwasu i pH spada. Gdy  $y = w$  ( $e = 0$ ), pompka  $PD$  utrzymuje stałą wydajność. Gdy pH cieczy na wypływie zbiornika spada ( $y < w$ ), współczynnik  $A$  maleje i pompka  $PD$  zmniejsza wydajność, doprowadzając do podwyższenia się wartości pH. Poza przedziałem  $X_p$  pompka jest stale wyłączona (przy pH za niskim) lub stale włączona (przy pH za wysokim).

Oczywiście, uruchomienie w regulatorze opcji algorytmu PID, może spowodować powolne przesunięcie się wykresu  $A = f(-e)$  z rys. 4.2 w lewo lub w prawo, aż do osiągnięcia optymalnej wartości współczynnika  $A$  przy zerowym poziomie odchylenia regulacji  $e$ . Realizuje to astatyczna składowa całkująca „ $I$ ” algorytmu PID (tylko całka z zerowej wartości  $e$  jest stała) i zastępuje ręczne dobranie wartości stałej  $u_0$  w regulatorze P lub PD (patrz [1], rozdz. 18.2.2).

Wielkość proporcjonalnego wzmocnienia regulatora (zakresu proporcjonalności  $X_p$ ), okres impulsowania  $T_{im}$  oraz pozostałe parametry regulatora PID (czas zdwojenia  $T_I$  oraz czas wyprzedzenia  $T_D$ ) mogą być w regulatorze dowolnie programowane ręcznie lub optymalizowane automatycznie (patrz punkt 4.5).

Przebieg zmian pH cieczy opuszczającej zbiornik jest rejestrowany w zakresie od 2,5 do 7,5 (węższym niż zakres pomiarowy  $\text{pH} = 0 \dots 14$ ) w analogowym rejestratorze *RS* typu KR-51 firmy Lumel. Przesuw taśmy rejestratora wynosi 12 cm/godz. (2 mm/min).

## 4.2. PRZYGOTOWANIE ROZTWORU KWASU

Uwaga! Roztwór kwasu przygotowuje laborant. Trzeba tylko sprawdzić stan napełnienia butli przynajmniej do połowy (należy przygotować około 0,4-N roztwór kwasu siarkowego, rozcieńczając  $30 \text{ cm}^3$  stężonego  $\text{H}_2\text{SO}_4$  w  $2 \text{ dm}^3$  wody wodociągowej – kwas wlewa się do wody, a nie wodę do kwasu !!!).

## 4.3. URUCHOMIENIE UKŁADU REGULACJI

Sprawdzić, czy jest zamknięty zawór (ściskacz) spustowy  $Z_3$ . Kontrolując wskazania rotametu RT, **delikatnie** nastawić zaworem regulacyjnym  $Z_1$  przepływ wody przez zbiornik  $\dot{V}_0 = 1,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ . Korzystać z lewej podziałki i środkowego pierścienia nurnika rotametu. Okresowo należy kontrolować natężenie przepływu wody  $\dot{V}_0$ ! Po napełnieniu się zbiornika do przelewu, woda zacznie przepływać przez głowicę pomiarową z czujnikiem pH. Sprawdzić, czy woda rzeczywiście przepływa przez głowicę!

Upewnić się, czy pompka dozująca jest **wyłączona** (przełącznik  $W_P$  w pozycji dolnej). Regulator również powinien być wyłączony (przełącznik  $W_R$  w pozycji dolnej). Włączyć zasilanie elektryczne całego układu wyłącznikiem  $W_Z$  (przełącznik przestawić w pozycję górną). Powinna zaświecić się dioda sygnalizacyjna w przetworniku pH. Następnie uruchomić mieszadło magnetyczne (wciśnięty przycisk „Motor”) i pokręteł prędkości wirowania („Speed”) ustawić niezbyt intensywne mieszanie zawartości reaktora, doprowadzające do tworzenia się tylko niewielkiego leja w cieczy. Okresowo należy kontrolować prawidłowość mieszania! Przetwornik pH i rejestrator powinny wskazywać zbliżone do siebie i stabilne wartości  $\text{pH} = 7,0 \pm 0,5$ . Jeśli tak nie jest, poczekać do ustabilizowania się pH na właściwym poziomie. Za stan ustalony przyjąć **zbliżony do pionowego średni przebieg** wykresu rejestratora przez co najmniej 5 min, czyli ok. 1 cm zapisu.

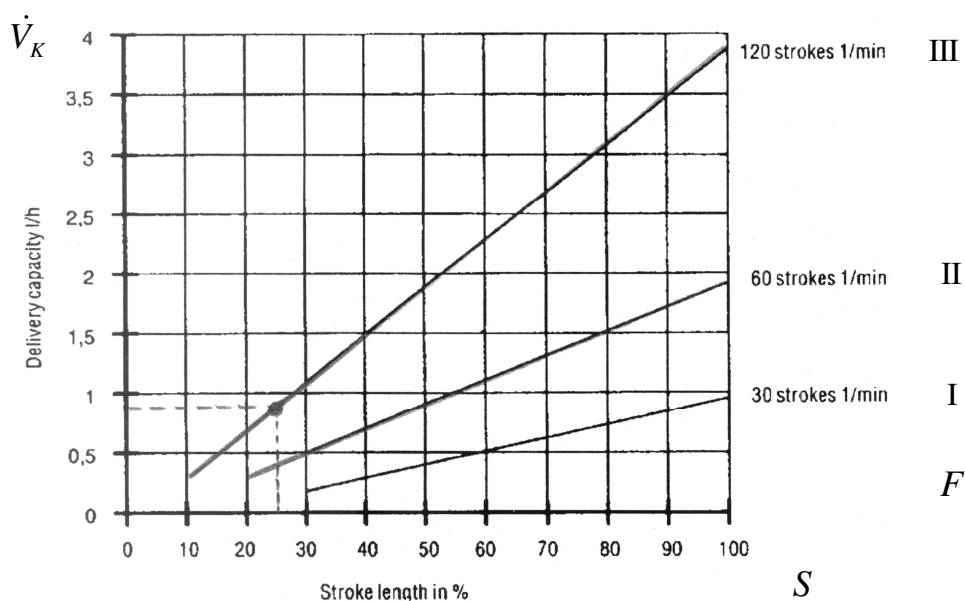
#### 4.4. ODPOWIEDŹ OBIEKTU REGULACJI NA WYMUSZENIE SKOKOWE

Badany reaktor przepływowy z mieszadłem i umieszczoną w pewnej odległości przepływową głowicą pomiarową z czujnikiem pehametrycznym, stanowią obiekt inercyjny I-go rzędu z opóźnieniem. Zbadanie dynamicznych właściwości tego reaktora będzie polegało na wykonaniu skokowej zmiany wydajności pompki  $PD$  dozującej do zbiornika roztwór  $H_2SO_4$ . Analizując po wykonaniu wymuszenia skokowego przebieg zmian  $pH$  w funkcji czasu, możemy wyznaczyć podstawowe parametry dynamiczne obiektu regulacji: zastępczy czas opóźnienia  $\tau_{oz}$  i zastępczą stałą czasową  $T_z$ .

Określając w warunkach statycznych (po ustaleniu się) zmianę  $\Delta pH$  odpowiadającą skokowej zmianie wydajności pompki  $PD$  o  $\Delta \dot{V}_k$ , możemy obliczyć statyczne wzmocnienie  $K_o$  obiektu regulacji w obszarze jego pracy  $X_{pr} = \Delta \dot{V}_k$ :

$$K_o = \left( \frac{\Delta pH}{\Delta \dot{V}_k} \right)_{X_{pr} = \Delta \dot{V}_k} \quad [pH]/[cm^3 \cdot min^{-1}] \quad (4.3)$$

Ustawić wydajność pompki dozującej roztwór kwasu  $\dot{V}_k = 900 \text{ cm}^3/\text{godz}$ . Taki przepływ osiągniemy nastawiając skok pompki  $S = 25\%$  (patrz diagram na rys. 4.3) i częstotliwość dozowania  $F = III$  (120 imp./min). Pompka jest wciąż **wyłączona**, regulator również **wyłączony**.



Rys. 4.3. Diagram do nastawiania wydajności pompki dozującej

Sprawdzić, czy rejestrator zapisuje ustaloną wartość pH wody przepływającej przez reaktor i czujnik pehametryczny (zbliżony do pionowego wykres rejestratora przy  $\text{pH} = 7,0 \pm 0,5$  przez co najmniej 5 min czyli 1 cm zapisu). Korzystając z cyfrowego wskaźnika pehametru, określić średnią wartość pH w reaktorze – dokonać pięciu odczytów wartości pH w odstępach kilku sekund i obliczyć ich średnią arytmetyczną ( $\text{pH}_0$ ).

Przygotować sekundomierz i tabelkę z rubrykami pH i  $\tau$ . Uruchamiając pomiar czasu, włączyć dozowanie roztworu kwasu przełącznikiem zasilania pompki  $W_P$ . Obserwując cyfrowy wyświetlacz pehametru, **notować w tabelce co 15 s** wartości pH cieczy opuszczającej reaktor przez kilkanaście minut, aż do ich ustalenia się. Za stan ustalony przyjąć **zbliżony do pionowego średni przebieg** wykresu rejestratora przez co najmniej 5 min, czyli ok. 1 cm zapisu. Co pewien czas **kontrolować natężenie przepływu wody przez zbiornik** ( $\dot{V}_0 = 1,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ ) i intensywność mieszania cieczy w zbiorniku. Zaznaczyć na taśmie rejestratora warunki doświadczenia (badanie odpowiedzi obiektu regulacji na wymuszenie skokowe przez włączenie ciągłego zakwaszania).

Po osiągnięciu ustalonego poziomu pH roztworu wypływającego z reaktora, zakończyć wypełnianie tabelki i korzystając z cyfrowego wskaźnika pehametru ponownie określić średnią wartość pH w reaktorze – dokonać pięciu odczytów wartości pH w odstępach kilku sekund i obliczyć ich średnią arytmetyczną ( $\text{pH}_k$ ). **Nie wyłączać** pompki dozującej roztwór kwasu!

#### 4.5. REGULACJA PID

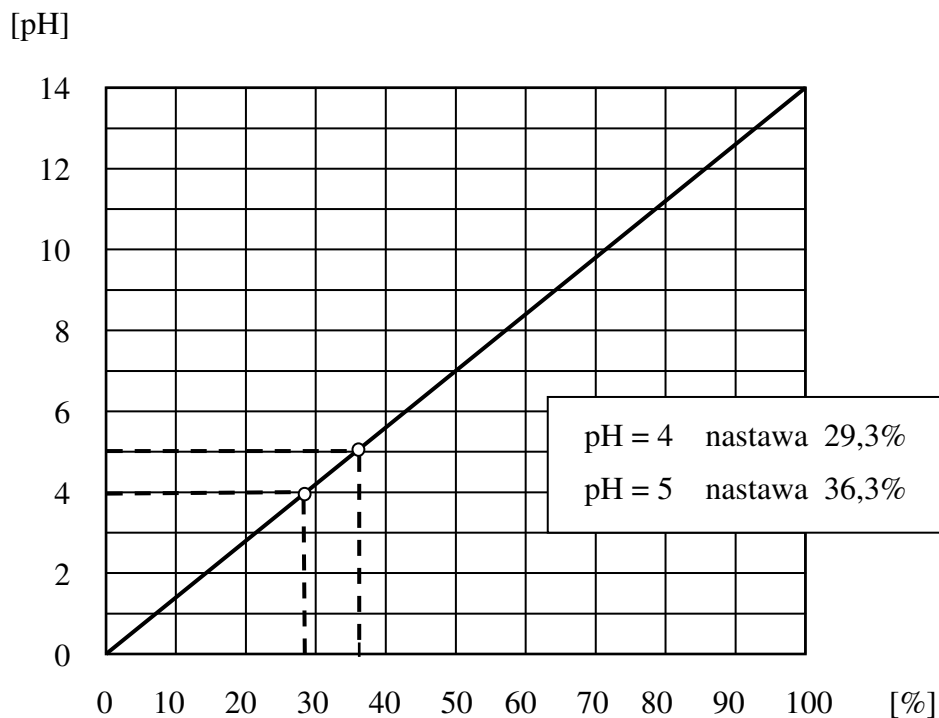
W punkcie 4.4 wyznaczyliśmy odpowiedź obiektu regulacji automatycznej pH na skokowe wymuszenie dozowania roztworu kwasu i określiliśmy zmianę pH na wypływie ze zbiornika, odpowiadającą zmianie wydajności pompki dozującej  $\dot{V}_k$  od zera do  $15 \text{ cm}^3/\text{min}$ . Pomiary te były wykonywane w układzie sterowania ręcznego, przy wyłączonym działaniu regulatora. Jeżeli uruchomimy układ regulacji automatycznej, to zamkniemy pętlę ujemnego sprzężenia zwrotnego z czujnika pH do pompki dozującej roztwór kwasu siarkowego (rys. 4.1). Regulator będzie automatycznie utrzymywał zadaną wartość pH (regulacja stałowartościowa) sterując pompką w ten sposób, że jak opisano to w punkcie 4.1 wzrost pH będzie zwiększał dopływ roztworu kwasu, a spadek pH go zmniejszał.

W układzie regulacji zastosowano nowoczesny, mikroprocesorowy regulator PID, w którym wszystkie parametry algorytmu mogą być swobodnie programowane przyciskami na przedniej ścianie obudowy. Regulator ten posiada też funkcję autoadaptacji (autotuning) –

samoczynnego dostrajania się do obiektu regulacji i dobierania współczynników algorytmu PID. Automatycznie dobrane parametry regulatora ( $X_p = 12\%$ ,  $T_D = 18\text{ s}$  i  $T_I = 200\text{ s}$ ) zostały zabezpieczone hasłem i nie mogą być zmieniane przez wykonujących zadanie. Dla obsługi jest dostępna tylko możliwość zmieniania przyciskami  $\uparrow$  i  $\downarrow$  nastaw wielkości zadanej  $w$ .

#### 4.5.1. WARTOŚĆ ZADANA pH = 4

Regulator AR-642 jest urządzeniem uniwersalnym – posiada skalę wartości zadanej  $w$  (dolny, zielony wyświetlacz) i regulowanej  $y$  (wyświetlacz czerwony, górny) w procentach zakresu zmienności (0...100%). Wejściowe i wyjściowe elektryczne, analogowe sygnały regulatora mają standardowy przedział zmienności 4...20 mA przy zmianie sygnału na wejściu od 0 do 100% (np. pH = 0...14). Ponieważ naszym celem będzie nastawienie zadanej wartości pH = 4,0 musimy odczytać z diagramu umieszczonego na rys. 4.4 procentową wartość zakresu zmienności pH, odpowiadającą pH = 4,0. Wynosi ona 29,3%.



Rys. 4.4. Diagram wzajemnych zależności nastaw regulatora w % i pH

Skontrolować przepływ wody przez reaktor ( $\dot{V}_0 = 1,5\text{ dm}^3/\text{min}$ ) i prawidłowość mieszania. **Włączyć** regulator (przełącznik  $W_R$  przestawić w poz. górną), a następnie, po odczekaniu kilku sekund na jego autotestowanie, ustawić przyciskami  $\uparrow$  i  $\downarrow$  wartość zadaną 29,3% (pH = 4,0) na dolnym, zielonym wyświetlaczu. Pompka dozująca wciąż jest **włączona**.

Obserwować pracę układu regulacji przez kilkanaście minut (niczego nie trzeba notować). W tym czasie wartość pH powinna się ustalić. Za stan ustalony przyjąć **zbliżony do pionowego średni przebieg** wykresu rejestratora przez co najmniej 5 min, czyli ok. 1 cm zapisu.

#### 4.5.2. WARTOŚĆ ZADANA pH = 5

Przyciskami  $\uparrow$  i  $\downarrow$  regulatora zwiększyć zadaną wartość pH do poziomu pH = 5,0 (wg diagramu na rys. 4.4 będzie to wartość 36,3%). Znowu obserwować pracę układu regulacji przez kilkanaście minut (niczego nie trzeba notować). W tym czasie wartość pH powinna się ustalić. Za stan ustalony przyjąć zbliżony do pionowego średni przebieg wykresu rejestratora przez co najmniej 5 min, czyli 1 cm zapisu.

#### 4.6. WPŁYW WIELKOŚCI ZAKŁÓCAJĄCEJ

Jednym z parametrów zakłócających działanie badanego układu regulacji pH jest zmienny przepływ  $\dot{V}_0$  wody przez reaktor. Zasymulujemy takie zakłócenie przez skokową zmianę przepływu  $\dot{V}_0$ .

Nie zmieniając zadanej wartości pH = 5,0 ( $w = 36,3\%$ ) i nie przerywając dozowania roztworu kwasu (pompka *PD* i regulator *RG* **włączone**), zmniejszyć przepływ wody przez reaktor, nastawiając pokrętkiem zaworu  $Z_1$  przepływ  $\dot{V}_0 = 1,0 \text{ dm}^3/\text{min}$  (skorzystać z lewej podziałki i środkowego pierścienia nurnika rotametu). Sprawdzić prawidłowość mieszania cieczy w zbiorniku. Zaznaczyć na taśmie rejestratora (po otwarciu drzwiczek) moment zmniejszenia przepływu wody.

Obserwować pracę układu regulacji przez kilkanaście minut (niczego nie trzeba notować). W tym czasie wartość pH powinna się ustalić. Za stan ustalony przyjąć **zbliżony do pionowego** wykres rejestratora przez co najmniej 5 min czyli 1 cm zapisu.

Wprowadzić następne zakłócenie procesu regulacji, tym razem przez zwiększenie przepływu wody przez reaktor do  $\dot{V}_0 = 2,0 \text{ dm}^3/\text{min}$ . Zaznaczyć na taśmie rejestratora moment zwiększenia przepływu wody.

Obserwować pracę układu regulacji przez kilkanaście minut (niczego nie trzeba notować). W tym czasie wartość pH powinna się ustalić. Za stan ustalony przyjąć **zbliżony do pionowego średni przebieg** wykresu rejestratora przez co najmniej 5 min, czyli ok. 1 cm zapisu.



## 4.7. ZAKOŃCZENIE ZADANIA

Po wykonaniu pomiarów należy wyłączyć pompkę dozującą. **Nie wyłączać** regulatora, zasilania układu i mieszadła. Zwiększyć przepływ wody przez zbiornik do  $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ . i przepuszczać wodę jeszcze przez kilkanaście minut. Wartość pH wskazywana przez przetwornik powinna osiągnąć poziom  $7 \pm 0,5$ . Wtedy zamknąć zaworem  $Z_1$  dopływ wody wodociągowej i wyłączyć mieszadło przyciskiem „Motor”. Wyłączyć główny wyłącznik zasilania  $W_Z$ . Nie otwierać ściskacza  $Z_3$  i nie opróżniać zbiornika z wody (żelowy czujnik pH podczas krótkotrwałych przerw w pracy powinien być zanurzony w wodzie, ale nie wodzie destylowanej!). Poprosić laboranta o wyjęcie odcinka taśmy papierowej z zapisem rejestratora.

## 4.8. OPRACOWANIE WYNIKÓW DOŚWIADCZEŃ

### 4.8.1. ODPOWIEDŹ OBIEKTU NA WYMUSZENIA SKOKOWE

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 4.4, sporządzić na **poziomym** arkuszu papieru o formacie A-4 (najlepiej ręcznie, na papierze milimetrycznym) wykres charakterystyki dynamicznej skokowej  $\text{pH} = f(\tau)$  badanego obiektu, po włączeniu zakwaszania (skok pH w dół). Wyznaczyć sposobem graficznym zastępczy czas opóźnienia  $\tau_{oz}$  i zastępczą stałą czasową  $T_z$  ([1], rozdz. 16.3.2, rys. 16.20 i dodatkowa instrukcja teoretyczna do laboratorium nr 3).

Biorąc pod uwagę wyznaczone w punkcie 4.4 średnie wartości pH w okresie początkowej i końcowej, ustabilizowanej pracy układu regulacji, określić wartość zmiany pH ( $\Delta \text{pH} = \text{pH}_k - \text{pH}_0$ ), odpowiadającą skokowej zmianie wydajności pompki dozującej od 0 do  $15 \text{ cm}^3/\text{min}$  ( $\Delta \dot{V}_k = 15 \text{ cm}^3/\text{min}$ ), przy wyłączonym układzie regulacji automatycznej. Z równania (4.3) obliczyć statyczne wzmocnienie obiektu regulacji  $K_o$  w obszarze jego pracy.

### 4.8.2. AUTOMATYCZNA REGULACJA pH

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 4.5.1 (wykresu na taśmie rejestratora zmian pH w funkcji czasu), określić z przebiegu zbliżonego do pionowego odcinka zapisu, ustaloną w pobliżu  $\text{pH} = 4$  średnią wartość  $\text{pH}_{w=4, V=1,5}$ . Uwaga! Szerokość pola zapisu rejestratora wynosi 100 mm i odpowiada zmianie pH od 2,5 do 7,5 czyli 1 mm szerokości zapisu to  $\text{pH} = 0,05$  – patrz załącznik na końcu instrukcji.

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 4.5.2 (wykresu na taśmie rejestratora zmian pH w funkcji czasu), określić z przebiegu zbliżonego do pionowego odcinka zapisu, ustaloną w pobliżu  $\text{pH} = 5$  średnią wartość  $\text{pH}_{w=5, V=1,5}$  (1 mm szerokości zapisu to  $\text{pH} = 0,05$ ).

Biorąc pod uwagę wyznaczone średnie wartości pH w okresie ustabilizowanej pracy układu  $\text{pH}_{w=4, V=1,5}$  i  $\text{pH}_{w=5, V=1,5}$ , określić średnie, statyczne, bezwzględne błędy regulacji PID oddzielnie dla wartości zadanych  $\text{pH} = 4,0$  i  $\text{pH} = 5,0$  (wzory 4.4 i 4.5):

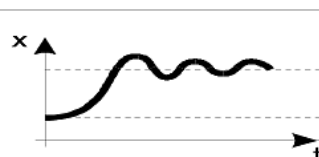
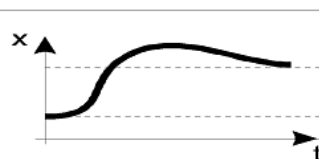

$$\Delta e_{st\text{pH}=4} = 4 - \text{pH}_{w=4, V=1,5} \quad (4.4)$$

$$\Delta e_{st\text{pH}=5} = 5 - \text{pH}_{w=5, V=1,5} \quad (4.5)$$

Przeliczyć obie wartości  $\Delta e_{st\text{pH}}$  na wartości błędów statycznych względnych  $\Delta E_{st\text{pH}}$ , wyrażonych w procentach całego zakresu zmienności pH ( $\text{pH} = 0 \dots 14$ ).

Ocenić jakość doboru w badanym układzie regulacji współczynników algorytmu PID, porównując reakcję obiektu regulacji (wykres rejestratora) na zmianę wartości zadanej (z  $\text{pH} = 4$  na  $\text{pH} = 5$ ) z przebiegami pokazanymi w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Objawy nieprawidłowego doboru nastaw regulatora PID i zalecana korekta ( $P_b$  – zakres proporcjonalności,  $t_d$  – czas wyprzedzenia,  $t_i$  – czas zdwojenia), patrz [1], rozdz. 22.2.

	Przebieg wielkości regulowanej	Algorytmy działania regulatora			
		P	PD	PI	PID
oscylacje		$P_b \uparrow$	$P_b \uparrow \quad t_d \downarrow$	$P_b \uparrow$	$P_b \uparrow \quad t_d \downarrow$
przeregulowanie		$P_b \uparrow$	$P_b \uparrow \quad t_d \uparrow$	$P_b \uparrow \quad t_i \uparrow$	$P_b \uparrow \quad t_d \uparrow \quad t_i \uparrow$
długi czas regulacji			$P_b \downarrow \quad t_d \downarrow$		$P_b \downarrow \quad t_d \downarrow \quad t_i \downarrow$

### 4.8.3. WPŁYW WIELKOŚCI ZAKŁÓCAJĄCEJ

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 4.6. (wykresu na taśmie rejestratora zmian pH w funkcji czasu), określić podobnie jak poprzednio, z przebiegu zbliżonego do pionowego odcinka zapisu, ustaloną w pobliżu  $\text{pH} = 5$  średnią wartość  $\text{pH}_{w=5, V=1}$  po zmniejszeniu przepływu wody przez reaktor do  $\dot{V}_0 = 1,0 \text{ dm}^3/\text{min}$ . Szerokość pola zapisu rejestratora wynosi 100 mm i odpowiada zmianie pH od 2,5 do 7,5 czyli 1 mm szerokości zapisu to  $\text{pH} = 0,05$  – patrz załącznik na końcu instrukcji.

Podobnie określić z przebiegu zbliżonego do pionowego odcinka zapisu, ustaloną w pobliżu  $\text{pH} = 5$  średnią wartość  $\text{pH}_{w=5, V=2}$  po zwiększeniu przepływu wody przez reaktor do  $\dot{V}_0 = 2,0 \text{ dm}^3/\text{min}$ .

Biorąc pod uwagę wyznaczone z zapisu rejestratora średnie wartości pH w czasie ustabilizowanej pracy układu  $\text{pH}_{w=5, V=1}$  i  $\text{pH}_{w=5, V=2}$ , określić średnie bezwzględne statyczne błędy regulacji PID, wynikające ze zmniejszenia i zwiększenia przepływu wody przez reaktor o  $0,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ . (wzory 4.6 i 4.7):

$$\Delta e_{stV=1} = 5 - \text{pH}_{w=5, V=1} \quad (4.6)$$

$$\Delta e_{stV=2} = 5 - \text{pH}_{w=5, V=2} \quad (4.7)$$

Przeliczyć obie wartości  $\Delta e_{stV}$  na wartości błędów statycznych względnych  $\Delta E_{stV}$ , wyrażonych w procentach zakresu zmienności pH ( $\text{pH} = 0 \dots 14$ ).

### 4.9. SPRAWOZDANIE

Sprawozdanie z wykonania zadania powinno zawierać:

- prosty schemat blokowy układu regulacji automatycznej pH z krótkim opisem,
- tabele z wynikami pomiarów,
- zapis rejestratora z zaznaczeniem **wszystkich** wykonanych doświadczeń,
- wykres odpowiedzi obiektu regulacji na wymuszenie skokowe z wyznaczeniem  $\tau_{oz}$ ,  $T_z$  i obliczeniem  $K_o$ ,
- określone z zapisu rejestratora wartości błędów statycznych regulacji  $\Delta e_{st\text{pH}}$  i  $\Delta E_{st\text{pH}}$  dla regulacji automatycznej PID i wartości wielkości zadanej  $\text{pH} = 4,0$  oraz  $\text{pH} = 5,0$ ,

- ocenę prawidłowości nastaw regulatora (wg tabeli 1),
- określone z zapisu rejestratora wartości błędów statycznych regulacji  $\Delta e_{stV}$  i  $\Delta E_{stV}$  dla regulacji automatycznej PID i zmiany przepływu wody przez reaktor w dół i w górę o  $0,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ ,
- wnioski dotyczące **wszystkich** wykonanych doświadczeń i wyników obliczeń.

#### 4.10. LITERATURA

Podstawowymi źródłami umożliwiającymi poszerzenie materiału zawartego w instrukcji są notatki z wykładów „Pomiary i automatyka” na Wydziale Biotechnologii i Nauk o Żywności, dodatkowe cztery instrukcje teoretyczne do laboratorium oraz książki:

- [1] **Ludwicki M.: Sterowanie procesami w przemyśle spożywczym, PTTŻ, Łódź 2002.**
- [2] Romer E.: Miernictwo przemysłowe, PWN, W-wa 1978.
- [3] Żelazny M.: Podstawy automatyki, PWN, W-wa 1976.

Opracował: dr inż. Marek Ludwicki, Politechnika Łódzka, I-30

<http://snack.p.lodz.pl/ludwicki>  
[marek.ludwicki@p.lodz.pl](mailto:marek.ludwicki@p.lodz.pl)

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana, czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie w jakikolwiek sposób, bądź elektroniczny, bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych nośników informacji, bez zgody autora.

Copyright © 2014-05-27  
All rights reserved

**Załącznik: skalowanie papieru z rejestratorów**

Zadanie 6

Zadanie 4

